

JAHRRINGUNTERSUCHUNGEN ZUR MURGANG- UND STEINSCHLAGAKTIVITÄT IM MATTERTAL: GESTERN, HEUTE – UND MORGEN?*

Markus Stoffel

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren sind in den Walliser Alpen wiederholt verheerende Unwetter und Massenbewegungen aufgetreten und haben teils beachtliche Schäden an Infrastruktur und Kulturland verursacht.¹ Wiederholt fielen den Naturkatastrophen auch Menschen zum Opfer. Wir denken etwa an den Murgang von Münster im Jahre 1987,² das Hochwasser von 1993 in Brig-Glis³ oder die verheerenden Rutschungen und Murgänge in Gondo, Baltschieder und Neubrück im Oktober 2000.⁴ Daneben brachen aus Talflanken und Felswänden mit grosser Regel-

* Verdankung: Die Arbeiten des vorliegenden Artikels wurden vom Departement für Verkehr, Bau und Umwelt des Kantons Wallis (Projekt RUFINE, Nr. 0931030100RA0000008253), der Gebäudeversicherung des Kantons Freiburg (ECAB) sowie dem EU-RP7 Projekt ACQWA (Nr. 212250) in verdankenswerter Weise unterstützt. Meinen Eltern gebührt mein aufrichtiger Dank für die sorgfältige Durchsicht des vorliegenden Beitrags und die konstruktiven Korrekturvorschläge.

1 *Werner Bloetzer, Thomas Egli, Armin Petrascheck, Josef Sauter, Markus Stoffel*, Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung, Synthesebericht NFP31, Zürich 1998; *Markus Stoffel*, Leben mit Naturgefahren: Gefahrenbeurteilung, Massnahmenplanung und Katastrophenbewältigung, Geographica Bernensia, Exkursionsführer Nr. 44, 54. Deutscher Geographentag Bern 2003, S. 1–26.

2 *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie* (Hrsg.), Murgänge 1987 (=Dokumentation und Analyse im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bericht Nr. 97.6) Zürich 1992.

3 *Gabriel Imboden*, Die wilde Saltina – Baumeisterin des Städtchens Brig, in: *Blätter aus der Walliser Geschichte* XXVIII (1996), S. 121–163.

4 *Bundesamt für Wasser und Geologie* (Hrsg.), Hochwasser 2000 – Les crues 2000. Berichte des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Bern 2002.

mässigkeit einzelne Blöcke oder ganze Felsmassen los, so etwa im April und Mai 1991 im Grossgufer bei Randa.⁵

Während für die vorgenannten Ereignisse ausführliche Untersuchungen durchgeführt und detaillierte Ergebnisse erarbeitet wurden, fehlen für andere Bäche und Hänge sowie für ältere Ereignisse detaillierte Kenntnisse zu Magnitude (*wie gross?*) und Frequenz (*wie häufig?*), zur räumlichen Ausdehnung (*wo? wie weit?*), Saisonalität (*wann?*) oder zu den Ursachen (*warum?*) weitestgehend. Zusätzlich zu den bestehenden Unsicherheiten zur vergangenen Aktivität ist weiterhin unklar, wie sich die Klimaveränderung mit wärmer werdenden Durchschnitts- und Maximaltemperaturen und vermehrt auftretenden Starkniederschlägen auf die Hochwasseraktivität und Massenbewegungen auswirken wird.⁶

Daneben kann auch das gesellschaftliche Verhalten die Naturgefahrenprozesse beeinflussen. Einerseits wurden in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts durch den aufkommenden Tourismus und die stetig steigende Nachfrage nach Bauland allenthalben Landstriche verbaut, die von der ansässigen Bevölkerung bislang gemieden wurden.

Kanton und Gemeinden sind verpflichtet, den bestehenden Gefahren Rechnung zu tragen sowie Infrastruktur und Menschenleben vor Naturkatastrophen zu schützen. Für die Realisierung geeigneter Schutzmassnahmen (Raumplanung, Schutzbauten) sind jedoch detaillierte Kenntnisse zur Prozessgeschichte am jeweiligen Standort unerlässlich. Solche Informationen fehlen in aller Regel und Archivdaten zu früheren Ereignissen sind in den meisten Fällen nur sehr spärlich vorhanden. Die Analyse von Jahrringserien geschädigter Bäume kann hier weiterhelfen, da diese Informationen zu vergangenen Ereignissen in ihren Zuwachsringen ablegen (siehe Erläuterungen in den nachfolgenden Abschnitten). Damit lassen sich bestehende Datenlücken schliessen und Hochwasser und verschiedenste Massenbewegungen jahrgenau und manchmal gar mit monatlicher Auflösung datieren.⁷

5 Charles-Louis Joris, Der Bergsturz, ein Zufallsereignis unter vielen, in: Naturforschende Gesellschaft Oberwallis (Hg.), Der Bergsturz von Randa 1991, Visp 1995, S. 43–49.

6 *Organe consultatif sur les Changements Climatiques* (Hrsg.), Extremereignisse und Klimaänderung, Bern 2003; Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe, Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge 2007.

7 Markus Stoffel, Delphine Conus, Michael A. Grichting, Igor Lièvre, Gilles Maitre, Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, envi-

In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie Jahrringuntersuchungen auf zwei Standorten im Mattertal helfen konnten, die Murgang- und Steinschlagaktivität der letzten Jahrhunderte und mögliche künftige Entwicklungen besser fassen zu können.

2 Wie reagieren Bäume auf Naturgewalten?

In unseren Breiten bilden Bäume und Sträucher jedes Jahr einen Zuwachsring aus. Dessen Breite wird in erster Linie von klimatischen Bedingungen (Temperatur, Niederschlag) sowie lokalen Standorteinflüssen (Wasserverfügbarkeit, Nährstoffe, Bodeneigenschaften, usw.) bestimmt. Diese Einflussfaktoren sind für Bäume desselben Standorts vergleichbar, so dass sich ein für die Lokalität typisches Wachstumsmuster ableiten lässt.⁸ Daneben können Bäume und Sträucher durch Massenbewegungen in ihrem Wachstum gestört werden, was sich in einer markanten und unmittelbaren Abweichung vom normalen Wachstum auswirkt. Durch das Studium dieser Anomalien lassen sich entsprechend auch Naturgefahrenprozesse datieren,⁹ wie etwa Murgänge, Lawinen, Steinschlag, Rutschungen

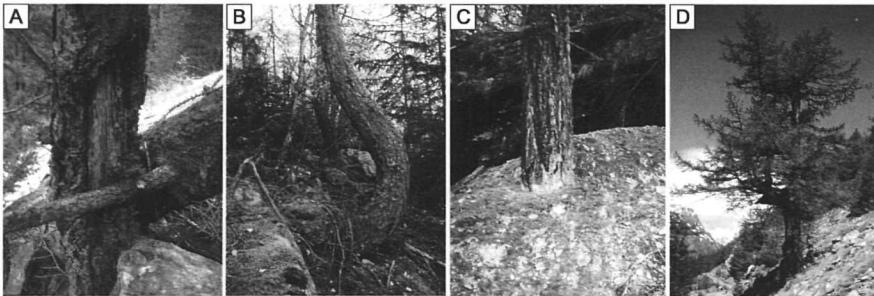


Abb. 1: Äusserlich sichtbarer Einfluss geomorphologischer Prozesse auf Bäume. A. Verletzung durch Steinschlag. B. Schrägstellung der Stammachse mit anschliessender Reaktion des Baumes durch eine Lawine. C. Einsedimentierung des Stammfusses durch einen Murgang. D. Köpfung des Baumes durch Steinschlag

ronment and implications for the future, in: *Global and Planetary Change* 60 (2008), S. 222–234; Michelle Bollschweiler, Markus Stoffel, Dominique M. Schneuwly, Dynamics in debris-flow activity on a forested cone – a case study using different dendroecological approaches, in: *Catena* 72/1 (2008), S. 67–78; Markus Stoffel, Michelle Bollschweiler, David R. Butler, Brian H. Luckman (Hrsg.), *Tree rings and natural hazards: a state of the art*, Heidelberg/New York 2009.

- 8 Hal C. Fritts, *Tree Rings and Climate*, London 1976; Fritz H. Schweingruber, *Tree rings and environment. Dendroecology*, Bern/Stuttgart/Wien 1996.
- 9 Markus Stoffel, Michelle Bollschweiler, *Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview*, in: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8 (2008), S. 187–202; dies., *What tree rings can tell about earth-surface processes. Teaching the principles of dendrogeomorphology*, in: *Geography Compass* 3 (2009), S. 1013–1037.

oder Hochwasser. Das Studium von Naturgefahren anhand von Jahrringserien gestörter Bäume und Sträucher geht auf den finnischen Geographen Jouko Alestalo¹⁰ zurück und wird mit dem Begriff Dendrogeomorphologie umschrieben.

Die mechanische Störung von Bäumen und Sträuchern führt einerseits zu äusserlich sichtbaren Schäden wie Verletzungen, Schrägstellung der Stammachse, Verschüttung des Stammfusses oder Kandelaberwuchs (Abb. 1). Daneben reagiert der gestörte Baum aber auch mit anormalem Jahrringbreitenzuwachs und mit spezifischen anatomischen Abweichungen im Holz: Ein Baum, der verletzt wurde, wird seine Wunde so rasch wie möglich zu schliessen versuchen. Dazu bildet er so genanntes Kallusgewebe aus, das für den Verschluss der Wunde zuständig ist. Gleichzeitig treten in Nadelbäumen zum Schutz vor weiteren äusseren Störungen (Insektenbefall) tangentiale Harzkanalreihen auf (Abb. 2A). Da die Harzkanalreihen unmittelbar nach der Verletzung ausgebildet werden, eignen sie sich hervorragend zur monatsgenauen Datierung von Ereignissen.¹¹ Auch wenn auf der Stammoberfläche die Spuren der Verletzung bereits verschwunden sind, lassen sich durch das Auffinden von Harzkanalreihen im Holz längst überwachsene Verletzungen datieren.¹²

Material von Murgängen und Hochwasserereignissen kann zudem den Stammfuss von Bäumen verschütten. Ein Baum, dessen Wurzelteller sich plötzlich in ungewohnter Tiefe befindet, wird deutlich engere Jahrringe ausbilden, da die Nähr- und Sauerstoffzufuhr nicht mehr im gewohnten Masse gewährleistet werden kann (Abb. 2B).¹³ Eine Reduktion im Jahrringzuwachs tritt ebenfalls ein, wenn ein

10 Jouko Alestalo, Dendrochronological interpretation of geomorphic processes, in: *Fennia* 105 (1971), S. 1–139.

11 Michelle Bollschweiler, Markus Stoffel, Dominique M. Schneuwly, Karin Bourqui, Traumatic resin ducts in *Larix decidua* trees impacted by debris flows, in: *Tree Physiology* 28 (2008), S. 255–263; Markus Stoffel, Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts, in: *Dendrochronologia* 26/1 (2008), S. 53–60; Markus Stoffel, Oliver M. Hitz, Snow avalanche and rockfall impacts leave different anatomical signatures in tree rings of *Larix decidua*, in: *Tree Physiology* 28 (2008), S. 1713–1720; Dominique M. Schneuwly, Markus Stoffel, Michelle Bollschweiler, Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts, in: *Tree Physiology* 29 (2009), S. 281–289.

12 Markus Stoffel, Simone Perret, Reconstructing past rockfall activity with tree rings: some methodological considerations, in: *Dendrochronologia* 24/1 (2006), S. 1–15.

13 Fritz H. Schweingruber, Dendroökologische Holzanatomie, Bern/Stuttgart/Wien 2001; Joseph R. McAuliffe, Louis A. Scuderi, Leslie D. McFadden, Tree-ring record of hillslope erosion and valley floor dynamics: landscape responses to climate variation during the last 400 yr in the Colorado Plateau, northeastern Arizona, in: *Global and Planetary Change* 50/3–4 (2006), S. 184–201.

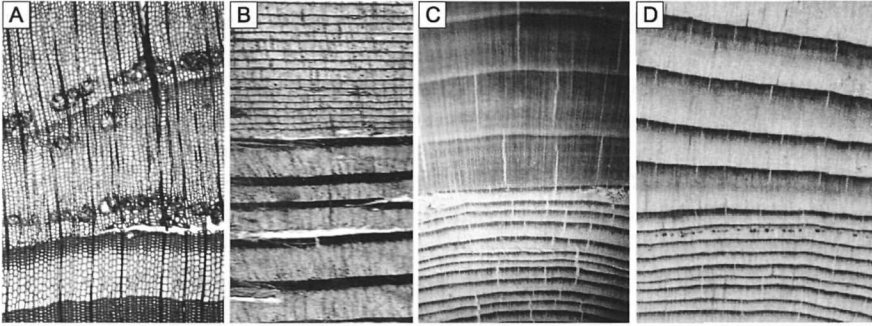


Abb. 2: Wachstumsreaktionen von Bäumen infolge geomorphologischer Prozesse (der Zuwachs der Bäume auf den Abbildungen erfolgt jeweils von unten nach oben). A. Verletzung mit angrenzenden traumatischen Harzkanalreihen. B. Markanter Wachstumseinbruch nach Einsedimentierung der Stammbasis. C. Druckholzbildung nach Schrägstellung der Stammachse. D. Wachstumsschub nach Eliminierung von Nachbarbäumen

Baum geköpft wird oder wichtige Äste abgeschlagen werden, da so die Photosynthese nicht mehr in demselben Masse stattfinden kann.¹⁴

Einseitiger Druck auf die Stammachse oder die Destabilisierung des Untergrunds kann zu einer Schrägstellung des Baumes führen. Nadelbäume reagieren auf die Kippung, indem sie auf der schräggestellten Stammunterseite mehr Holz mit stärkeren Zellwänden (so genanntes Druckholz) ausbilden.¹⁵ Durch die zusätzliche Holzproduktion auf der Stammunterseite wird sich der Baum im Laufe der Jahre wieder aufrichten und sein vertikales Wachstum zurückgewinnen (Abb. 2C). Laubbäume bilden im Gegensatz zu Nadelbäumen Zugholz aus. Dieses wird auf der Oberseite der Schrägstellung ausgebildet.

Grossereignisse können Bäume, ja ganze Waldabschnitte vollständig eliminieren. Überlebende Bäume am Rande des Einflussbereiches von Ereignissen profitieren von den plötzlich besseren Wachstumsbedingungen (mehr Licht, Wasser und Nährstoffe). Als Folge davon kann im Jahrringbild der überlebenden Bäume ein markanter Breitenzuwachs beobachtet werden (Abb. 2D).

- 14 Horst Strunk, *Dendrochronologische Methoden zur Ermittlung der Murgangsfrequenz und Beispiele ihrer Anwendung*, Regensburg 1995; Markus Stoffel, Dominique Schneuwly, Michelle Bollschweiler, Igor Lièvre, Reynald Delaloye, Maung Moe Myint, Michel Monbaron, Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest – a case study using dendrogeomorphology, in: *Geomorphology* 68/3–4 (2005), S. 224–241.
- 15 Robert R. Braam, Ed E.J. Weiss, Peter A. Burrough, Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology, in: *Catena* 14 (1987), S. 573–584; Rosanna Fantucci, Marino Giovanni Sorriso-Valvo, Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy), in: *Geomorphology* 30 (1999), S. 165–174.

3 Arbeitsmethoden in der Dendrogeomorphologie

Eine dendrogeomorphologische Untersuchung beginnt im Gelände. In einem ersten Schritt werden der Schaden verursachende Prozess identifiziert und dessen Einflussgebiete anhand von Ablagerungs- und Erosionsformen detailliert kartiert. Basierend auf dieser Karte werden Bäume beprobt, die offensichtlich durch den Prozess getroffen und in ihrem Wachstum gestört wurden. Die Beprobung erfolgt in der Regel mit einem Zuwachsbohrer, mit welchem dem Stamm ein Bohrkern mit einem Durchmesser von 6 mm entnommen wird. Dieser stellt einen punktuellen Querschnitt durch den Stamm dar. Alternativ können mit einer Hand- oder Kettensäge Stammscheiben von Bäumen gesägt werden, sofern eine destruktive Beprobung erlaubt ist.

Im Jahrringlabor werden die Bohrkern auf Holzträger fixiert, getrocknet und geschliffen. In einem nächsten Schritt werden die Jahrringe gezählt, die Jahrringbreiten am Computer eingemessen sowie Wachstumsanomalien, die nicht auf Standortfaktoren oder das Klima zurückzuführen sind, mikroskopisch analysiert. Aufgrund der so festgestellten Anomalien werden die Ereignisse datiert. Danach werden all jene Bäume, die gleichzeitig auftretende Reaktionen aufweisen, auf der Prozesskarte eingezeichnet, um so räumliche Muster einzelner Ereignisse aufzeigen zu können. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf das räumliche Verhalten sowie die Reichweite von Ereignissen ziehen.

4 Murgänge im Ritigraben

4.1 Einleitung

Der Ritigraben stellt einen der aktivsten murführenden Wildbäche des Mattertals dar und befindet sich auf dem Gebiet der Gemeinden Grächen und St. Niklaus. Abb. 3A gibt einen Überblick über den Wildbach, der auf einer Höhe von 2600 m.ü.M. entspringt und dessen Anrissgebiet sich im Permafrost befindet.¹⁶ Auf seinem Weg in die Mattervispa quert der Bach einen mächtigen, mit Nadelbäumen bestandenen Kegel (1800–1500 m.ü.M., 32 ha, ca. $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$) zwischen Grächen und Gasenried. Hier gelangen Murschübe wiederholt zur Ablagerung und Bäume wurden in der Vergangenheit regelmässig von vorbeifliessendem Murmaterial in ihrem Wachstum gestört. Der Waldbestand auf dem Kegel besteht vorab aus Lärchen (*Larix decidua* Mill.) und Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.). In

16 Ralph Lugon, Michel Monbaron, Stabilité des terrains meubles en zone de pergélisol et changements climatiques. Deux études de cas en Valais: Le Ritigraben (Mattertal) et la moraine du Dolent (Val Ferret), Zürich 1998.

den höher gelegenen Abschnitten kommen auch Arven (*Pinus cembra* L.) vor. Der Kegel, in Abb. 3B dargestellt, ist nach dem Ende der letzten Eiszeit entstanden und ist somit holozänen Alters. Beim Zusammenfluss des Ritigraben mit der Matteredvispa fehlen Ablagerungsformen praktisch gänzlich und Murmaterial wird direkt vom Fluss erodiert.

Durch die grosse Meereshöhe des Anrissgebiets und das Vorhandensein von Permafrost treten Murgänge unter den jetzigen Klimabedingungen nur zwischen Anfang Juni und Ende September auf.¹⁷ Die Auslösung von Ereignissen erfolgt in der Regel nach langanhaltenden Niederschlägen im Herbst oder infolge von Sommergewittern. Daten zu vergangenen Ereignissen existieren seit 1922¹⁸ und weisen auf zehn Ereignisse hin. Quantitative Daten sind jedoch erst für die Murgänge seit 1993 vorhanden. Danach soll sich das grösste Ereignis des Baches am 24. September 1993 zugetragen haben, als durch elf Murschübe insgesamt 60'000 m³ Murmaterial ins Tal verfrachtet wurden.¹⁹

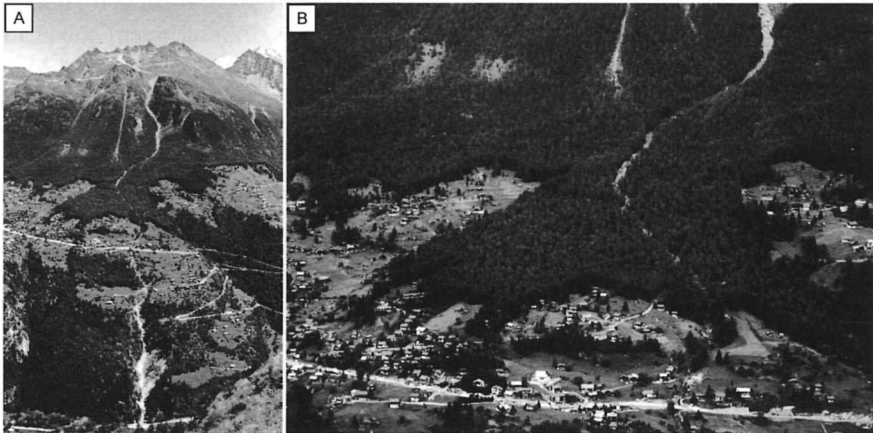


Abb. 3: A. Photo des Mursystems Ritigraben von seiner Quelle bis zur Mündung in die Matteredvispa (Einzugsgebietsgrösse: 1.36 km², Rinnenlänge: 3.5 km). B. Detaillierte Ansicht des Murkegels (32 ha) mit seinem Nadelwald

- 17 Markus Stoffel, Igor Lièvre, Delphine Conus, Michael A. Grichting, Hugo Raetzo, Holger W. Gärtner, Michel Monbaron, 400 years of debris flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben VS, Switzerland, in: Arctic, Antarctic and Alpine Research 37/3 (2005), S.387–395.
- 18 Verena Chastonay, Naturlehrpfad Grächen. Stiftung Greechu ischi Heimat, Denges 1993; Sina Fux-Anthamatten, Familien- und Dorfchronik von Grächen 1900–2000, Grächen 2001.
- 19 Markus Zimmermann, Peter Mani, Patrick Gamma, Peter Gsteiger, Olivier Heiniger, Gabi Hunziker, Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz, Zürich 1997.

Für die Rekonstruktion der vergangenen Murgangaktivität und hinsichtlich eines besseren Verständnisses zur Häufigkeit, Grösse und zu den auslösenden Faktoren von Murgängen wurden auf dem Kegel des Ritigraben insgesamt 2246 Bohrkerne von 1102 Nadelbäumen gezogen (539 *Larix decidua*, 429 *Picea abies*, 134 *Pinus cembra*), die durch vergangene Muraktivität in ihrem Wachstum gestört wurden. Daneben wurden für jede der drei Arten insgesamt 204 Bohrkerne von 102 in ihrem Wachstum ungestörten Bäumen entnommen und analysiert, um so den Einfluss von klimatischen Faktoren und lokalen Standorteinflüssen von den von Murgängen verursachten Störungen unterscheiden zu können.

4.2 Resultate

Die Prozesskartierung des Murkegels erlaubte eine Identifizierung von 769 Ablagerungen vergangener Muraktivität in Form von 291 lobenförmigen Ablagerungen, 465 *Levéés* (d.h. Ablagerungen beidseits von Abflussrinnen) sowie 13 deutlich ausgebildeten Rinnen. Abb. 4 zeigt die räumliche Verteilung der Murgangablagerungen auf dem Kegel des Ritigraben und vermittelt einen Eindruck über die Dichte der Vegetation und die mittlere Grösse der Blöcke, welche durch vergangene Murgänge transportiert wurden.

Das Alter der beprobten Bäume auf dem Kegel übertrifft im Schnitt 300 Jahre (53 %), und das älteste Individuum steht seit mindestens A.D. 1492 auf dem Kegel. Der jüngste Baum wuchs erst um A.D. 1962 auf und befindet sich in der Nähe des Waldrands, wo infolge menschlicher Einflüsse (d.h. Land- und Forstwirtschaft) ältere Bäume weitestgehend fehlen. Die Untersuchung der gestörten Bäume förderte 2263 Wachstumsstörungen zu Tage, welche nachweislich durch vergangene Murgänge verursacht worden sind. Durch die Zusammenfassung der zeitgleich auftretenden Wachstumsreaktionen in den beprobten Bäumen sowie die räumliche Verteilung derselben können so für den Ritigraben nicht weniger als 123 Murgangereignisse für die letzten 440 Jahre rekonstruiert werden. Das zeitliche Auftreten der Muren seit A.D. 1570 ist in Abb. 5 wiedergegeben. Es fällt auf, dass sich Phasen erhöhter Aktivität mit solchen sehr geringer Aktivität abwechseln. Derartige Perioden mit grosser Muraktivität lassen sich etwa in den frühen 1870er und 1890er-Jahren erkennen sowie zwischen 1916 und 1935. Aufgrund der grossen Anzahl beprobter Bäume, deren beachtlichen Alters und der gleichmässigen Verteilung der Bäume auf dem Kegel kann davon ausgegangen werden, dass die vorliegende Untersuchung praktisch alle Ereignisse der letzten 300 Jahre erfasst haben dürfte. Für die Zeit vor A.D. 1700 ist es ob der stetig abnehmenden Probenzahl und der ungleichmässigen Verteilung alter Bäume auf dem Kegel jedoch möglich, dass einzelne Ereignisse nicht rekonstruiert werden konnten.

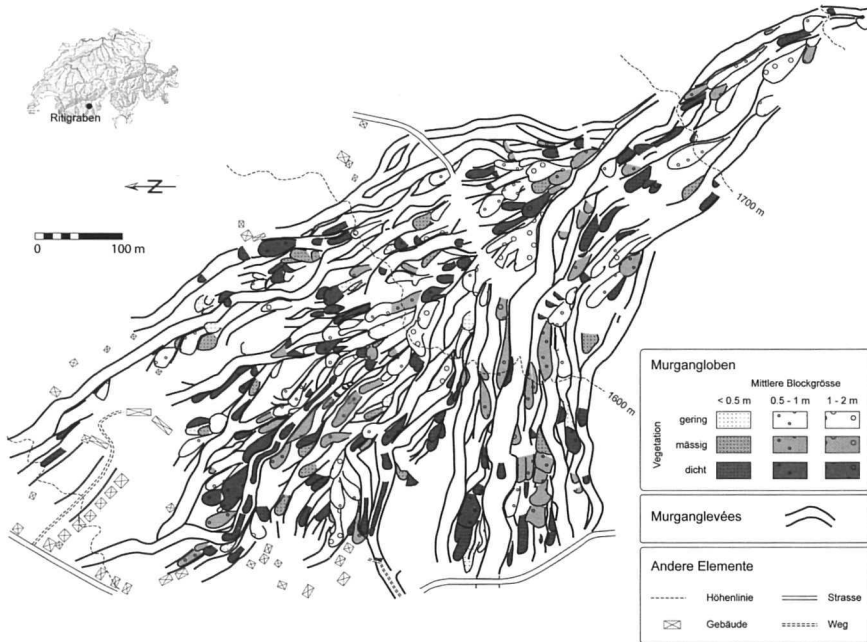


Abb. 4: Geomorphologische Karte des Murkegels mit lobenförmigen Ablagerungen, Depots am Rande der Abflussrinnen (so genannte Levées) und Kanälen. Die Farbe der Ablagerungen sowie die Punktierung geben Aufschluss über die mittlere Blockgrösse sowie die Vegetationsbedeckung

Abb. 6 fasst die rekonstruierte Murgangfrequenz zusammen und gibt sie in Form von Dekadenfrequenzen wieder, wobei die Balken Abweichungen von der mittleren Frequenz der letzten 300 Jahre darstellen (sprich 3.26 Ereignisse pro Dekade für die Zeit 1706–2005). Die Abb. zeigt auf, dass die Muraktivität über weite Phasen der klassischen Kleinen Eiszeit (1570–1900)²⁰ deutlich unter dem Durchschnitt verweilte, und dass Zeiten mit höherer Aktivität erst ab 1860 und nach dem Ende des letzten Vorstossens der Alpengletscher registriert wurden. Diese Phase verstärkter Aktivität zieht sich über das Ende des 19. und bis ins 20. Jahrhundert hin und kulminiert mit insgesamt 14 Ereignissen zwischen 1916 und 1935. Unsere Daten deuten ebenfalls darauf hin, dass auf diese Episode verstärkter Aktivität eine allmähliche Abnahme in der Häufigkeit von Muren festzustellen ist. So kann etwa für den letzten Zehnjahresabschnitt der Analyse (1996–2005) nur ein einziges Murgangereignis ausgemacht werden (27. August 2002), was, ge-

20 Jean M. Grove, Little Ice Ages: Ancient and modern, London 2004.

meinsam mit den Phasen 1706–1715 und 1796–1805, der geringsten Aktivität der letzten 300 Jahre gleichkommt.²¹

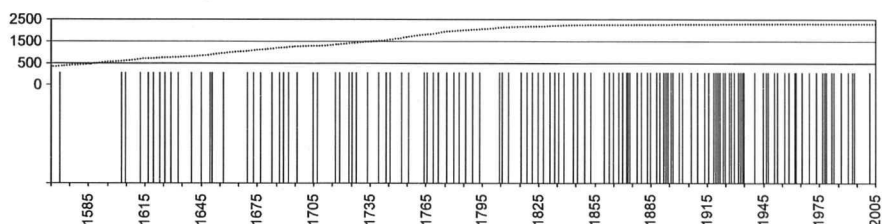


Abb. 5: Jahrringbasierte Rekonstruktion der Murgangaktivität im Ritigraben seit A.D. 1566 mit insgesamt 123 Ereignissen. Die Anzahl zur Verfügung stehender Bäume ist mit einer gestrichelten Linie angegeben und nimmt mit zunehmender Distanz zur Gegenwart ab

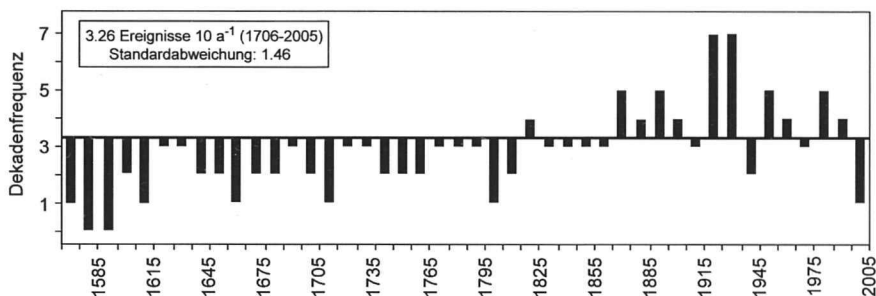


Abb. 6: Rekonstruierte Dekadenfrequenz von Murgängen im Ritigraben zwischen A.D. 1566 und 2005. Die Balken stellen Abweichungen von der mittleren Dekadenfrequenz der letzten 300 Jahre (1706–2005) dar

Das jahreszeitliche Auftreten der Murgänge im Ritigraben wurde aufgrund der Lage der Verletzung und der Harzkanalreihe innerhalb des Jahrrings festgestellt. Mithilfe der hoch aufgelösten Daten zum Wachstum von Nadelbäumen auf der Simplon-Südseite²² wurde die Position der Störung innerhalb der Jahrringe in Monatswerte übersetzt und die so gewonnene, sehr detaillierte Datierung von Murgangereignissen mit Meteo-²³ sowie Unwetterdaten der Chroniken von

21 Markus Stoffel, Martin Beniston, On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: a case study from the Swiss Alps, in: *Geophysical Research Letters* 33 (2006), L16404.

22 Hans-Niklaus Müller, Jahrringwachstum und Klimafaktoren: Beziehungen zwischen Jahrringwachstum von Nadelbaumarten und Klimafaktoren an verschiedenen Standorten im Gebiet des Simplonpasses (Wallis, Schweiz), (=Veröffentlichungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien) Wien 1980.

23 Markus Stoffel, Martin Beniston, Rainfall characteristics for periglacial debris flows in the Swiss Alps: past incidences – future evolutions, in: *International Journal of Climatology*, in Vorb.

Lütschg-Lötscher²⁴ sowie Lanz-Stauffer und Rommel²⁵ verglichen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abb. 7 aufgeführt und zeigen, dass Murgänge vor A.D. 1900 früher im Jahr aufgetreten sind, als dies heute der Fall ist. Besonders augenfällig ist die Verschiebung für die Periode 1850–1899, als mehr denn 70% aller rekonstruierten Ereignisse im Juni oder Juli aufgetreten sind und solche im September gänzlich fehlen. Im Laufe des letzten Jahrhunderts verschob sich die Murgangaktivität vom frühen Sommer Richtung August und September. Ereignisse im Juni fehlen seit A.D. 1962 gänzlich. Unsere Daten weisen ebenfalls darauf hin, dass aufgrund der hohen Lage des Anrissgebiets und durch vermehrten Schneefall in dieser Höhe (>2600 m ü. M.) keine Murgänge zwischen Oktober und Mai aufgetreten sind.

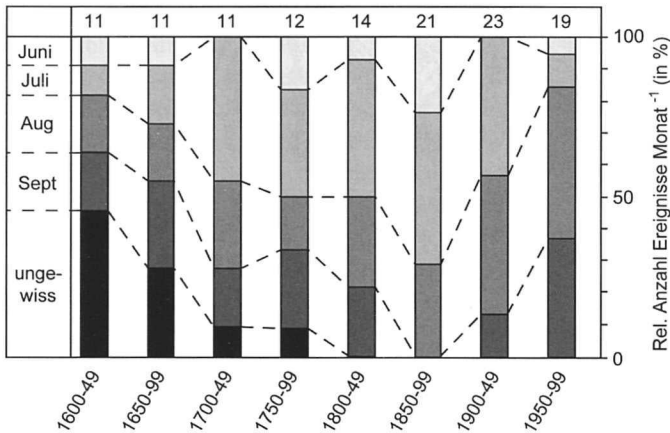


Abb. 7: Saisonalität (Juni, Juli, August, September) der Murgangaktivität, basierend auf Untersuchungen zur Position der Verletzungen und Harzkanäle im Jahrring, Archivdaten zu Hochwasser in benachbarten Flüssen und meteorologischen Aufzeichnungen (1863–2005)

Durch die Analyse der Bäume und ihre Position in oder an den Formen lassen sich nebst der Rekonstruktion der Frequenz auch Aussagen zu räumlichen Mustern vergangener Ereignisse sowie zum Alter von Ablagerungen anstellen. Eine solche Altersbestimmung war für 249 der 291 lobenförmigen Ablagerungen möglich (86%). Bei den verbleibenden 42 Loben (14%) verhinderte das Fehlen von Vegetation oder das allzu junge Alter der Bäume (Sukzessionsbäume) eine Altersbestimmung.

24 Otto Lütschg-Lötscher, Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge: Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes. Ein Beitrag zur Fluss- und Gletscherkunde der Schweiz, (=Veröffentlichungen der Hydrologischen Abteilung der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich, Nr. 14) Zürich 1926, S. 1–479.

25 Hermann Lanz-Stauffer, Curt Rommel, Elementarschäden und Versicherung, Bern 1936.

A 1902-1934



B 1935-1993



Abb. 8: Datierete Murgangablagerung auf dem Kegel des Ritigraben. A. 1902 bis 1934; B. 1935 bis heute. Es sind nur jene Ereignisse dargestellt, die auf der heutigen Kegeloberfläche mit $>600 \text{ m}^3$ vertreten sind. Schwarz eingefärbte Formen sind älter als die im Bild gezeigte Phase

Abb. 8 zeigt die räumliche Verteilung gleichaltriger Loben von 22 ausgewählten Ereignissen des 20. Jahrhunderts.²⁶ Dargestellt sind nur jene Ereignisse, von denen mindestens 600 m³ Material auf der heutigen Kegeloberfläche erkennbar ist. Es fällt auf, dass ein beachtlicher Teil der Ablagerungen, die wir heute auf der Kegeloberfläche sehen können, während der letzten 80 Jahre abgelagert wurde. Obschon die Frequenz bis ins Jahr 1570 zurückreicht, so können nur 6 (2.4%) der 249 datierten Loben dem 16., 17. oder 18. Jahrhundert zugeordnet werden, und lediglich 68 Ablagerungen (27.3%) entfallen auf das 19. Jahrhundert. Es muss also davon ausgegangen werden, dass die beprobten Bäume auf dem Kegel uns zwar reichlich Hinweise auf Ereignisse vor 1900 liefern, dass jedoch die Schaden verursachenden Ablagerungen infolge regelmässiger Muraktivität von jüngeren Ereignissen weitestgehend überlagert oder erodiert wurden. Im Gegensatz dazu lassen sich 92 Ablagerungen (37%) der Zeit zwischen 1902 und 1934 zuordnen. Wie aus Abb. 8A ersichtlich, konzentrierte sich die Murgangaktivität zu Beginn des 20. Jahrhunderts sehr stark auf den zentralen und nordwestlichen Teil des Kegels. Ebenso fällt auf, dass infolge der beachtlichen Muraktivität im Jahre 1922 die Morphologie des Kegels auf einer Meereshöhe von 1650 m so stark verändert wurde, dass Murgänge seit diesem Zeitpunkt – mit Ausnahme der Muren von 1935, 1947, 1953 und 1962 – ausschliesslich den südwestlichen Bereich des Kegels heimgesucht haben. Die Spuren der heftigen Muraktivität von 1922 sind noch heute auf dem Kegel in Form von 26 Ablagerungen und Blöcken mit bis zu 3 m Kantenlänge sichtbar. Exakt ein Drittel der datierten Ablagerungen (83 Loben, 33.3%) konnten Ereignissen der letzten 70 Jahre (1935–1993; Abb. 8B) zugeordnet werden. Seit dem Grossereignis von 1993 und der damit verbundenen starken Tiefenerosion wurde auf dem Kegel kein Material abgelagert.

4.3 Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zur Murgangaktivität im Ritigraben legt anschaulich dar, dass mit Hilfe von Zuwachsringen geschädigter Bäume wertvolle Informationen zu vergangenen Ereignissen rekonstruiert werden können. Im vorliegenden Fall wurde die Frequenz von 10 auf 123 Ereignisse verdichtet und die ursprüngliche Reihe (1922–2008) um nicht weniger als 350 Jahre verlängert. Für die als bekannt betrachtete Zeit von 1922 bis heute konnte die Zahl bekannter Ereignisse zudem von zehn auf 35 verdichtet sowie Informationen zur räumlichen Ausdehnung der Muren gewonnen werden.²⁷

²⁶ Markus Stoffel et al. 2008 (Anm. 7), S. 222–234.

²⁷ Ebd.

Basierend auf den Ergebnissen der Rekonstruktion erscheint es überdies möglich, sowohl meteorologische wie auch klimatologische Faktoren der Murgangauslösung für den Ritigraben festzulegen. In Kenntnis der Untersuchungen von Pfister²⁸ muss davon ausgegangen werden, dass die kühlen Sommer mit regelmäßigen Schneefällen bis in tiefere Lagen in der Phase A.D. 1570–1860 die Auslösung von Muren häufig verunmöglicht haben. Im Gegensatz dazu dürfte die Erwärmung und stärkere Niederschlagsaktivität während der Sommermonate und Herbstes zwischen 1864 und 1895 vermehrt Voraussetzungen geschaffen haben, die einer Auslösung von Murgängen förderlich sind. Die starke Muraktivität hat sich, wie in Abb. 6 dargestellt wurde, weit ins 20. Jahrhundert hineingezogen und resultierte in einer starken Aktivität in der Periode 1916–1935. In einer Zeit also, während im Sommer warme und feuchte Bedingungen in den Schweizer Alpen verzeichnet wurden.²⁹

Die Tendenzen in unserer Frequenz decken sich über weite Strecken mit den Hochwasserchroniken von Lütschg-Lötscher,³⁰ Lanz-Stauffner und Rommel³¹ sowie von Röthlisberger³² überein, welche für die Kleine Eiszeit sowie die Mitte des letzten Jahrhunderts eine geringere Hochwasseraktivität in den Flüssen der Walliser Alpen und im benachbarten Tessin beobachten. Interessant erscheint, dass die Zunahme der Hochwasser in den Alpenflüssen um 1830 beginnt,³³ im Ritigraben aufgrund des hohen Anrissgebiets eine Zunahme in der Frequenz aber erst drei Jahrzehnte später augenfällig wird.

Das jahreszeitliche Auftreten der Muren erlebte im Laufe der letzten 440 Jahre ebenfalls grosse Veränderungen. Insbesondere fällt die Verschiebung der Muraktivität während des 20. Jahrhunderts von den Monaten Juni und Juli hin zu August und September auf. Ein Vergleich unserer Frequenzreihe mit Hochwasser- und Meteodaten zeigt auf, dass konvektiver Niederschlag im Sommer (lokale Gewitter) vorab Ereignisse zwischen 1860 und den frühen 1980er-Jahren ausgelöst haben dürfte.³⁴ Im Gegensatz dazu zeichnen weitläufige Tiefdruckgebiete (Genuatiefs) mit langanhaltendem Niederschlag für die Murgänge von 1987, 1993 und 1994 verantwortlich. Ein ähnliches Ereignis hat sich im Oktober 2000 zugetragen. Aufgrund der kalten Temperaturen im Vorfeld der Schlechtwetterlage und wegen der relativ tiefen Nullgradgrenze wurde der Niederschlag im Anrissgebiet

28 Christian Pfister, *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*, Bern/Stuttgart/Wien 1999.

29 Ebd.

30 Otto Lütschg-Lötscher (Anm. 24).

31 Hermann Lanz-Stauffner, Curt Rommel (Anm. 25).

32 Gerhard Röthlisberger, *Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz*, (=Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Bd. 330) Teufen 1991, S. 1–122.

33 Christian Pfister (Anm. 28).

34 Markus Stoffel, Martin Beniston (Anm. 21), L16404; dies., im Druck (Anm. 23).

in Form von Schnee zwischengelagert – Murgänge blieben somit aus. Vergleichbare Wetterlagen ausserhalb der Murgangsaison haben etwa im Jahre 1755 grosse Schäden beidseits des Alpenhauptkamms verursacht, ohne dabei Murgänge auszulösen.³⁵

Unsere Daten stimmen auch mit den Resultaten von Schmidli und Frei³⁶ überein, die basierend auf einer Analyse der meteorologischen Messreihen verschiedener Stationen der Schweizer Alpen eine Abnahme der starken Sommerniederschläge ausmachen und eine leichte Zunahme der intensiven Herbstniederschläge feststellen. Basierend auf dem Szenario des Weltklimarats (Szenario A2; Intergovernmental Panel on Climate Change³⁷), welches eine Verdoppelung der Treibhausgasemissionen vorsieht, deuten regionale Klimamodellberechnungen (RCM) für das Ende des 21. Jahrhunderts ebenfalls auf eine Verschiebung der Starkniederschläge vom Sommer in den Herbst (und Frühling) hin.³⁸ Die dazugehörigen Frühlings- und Herbsttemperaturen dürften im Jahre 2100 trotz der globalen Erwärmung 4–7 °C unter den jetzigen Sommertemperaturen verharren. Es kann daher vermutet werden, dass trotz wärmerer Temperaturen, vermehrt auftretender Starkniederschläge und stärker ausgeprägter Wetterextreme im Ritigraben nicht zwingend mehr Murgänge auftreten werden, als dies heute der Fall ist – im Gegenteil. Durch die kälteren Frühlings- und Herbsttemperaturen ist es durchaus denkbar, dass bei künftigen Ereignissen, ähnlich wie im Oktober 1755 oder 2000, im Anrissgebiet Schnee fällt und so eine Auslösung von Murgängen verhindert wird. Da überdies die Häufigkeit starker Niederschläge im Sommer abnehmen dürfte, könnte sich die Murgangfrequenz im Ritigraben in Zukunft auf einem tieferen Niveau einpendeln.

Eine abnehmende Eintretenshäufigkeit von Murgängen im Ritigraben bildet insofern ein Problem, als dass zwischen den einzelnen Ereignissen mehr Material im Anrissgebiet und in der Rinne bereitgestellt wird. Dies einerseits durch den gefrorenen Blockgletscher, der mit wärmer werdenden Temperaturen deutlich an

35 Markus Stoffel et al. (Anm. 17).

36 Jürg Schmidli, Christoph Frei, Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century, in: *International Journal of Climatology* 25 (2005), S. 753–771.

37 Nebojsa Nakićenović, Joseph Alcamo, Gerald Davis, Bert de Vries, Joergen Fenhann, Stuart Gaffin, Kenneth Gregory, Arnulf Grübler, Tae Yong Jung, Tom Kram, Emilio Lebre La Rovere, Laurie Michaelis, Shunsuke Mori, Tsuneyuki Morita, William Pepper, Hugh Pitcher, Lynn Price, Keywan Riahi, Alexander Roehrl, Hans-Holger Rogner, Alexei Sankovski, Michael Schlesinger, Priyadarshi Shukla, Steven Smith, Robert Swart, Sascha van Rooijen, Nadejda Victor, Zhou Dadi, IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge 2000.

38 Martin Beniston, August 2005 intense rainfall event in Switzerland: not necessarily an analog for strong convective events in a greenhouse climate, in: *Geophysical Research Letters* 33 (2006), L05701.

Stabilität verlieren dürfte,³⁹ anderseits aber auch durch Sturz- und Rutschungsprozesse aus den Hängen in die Murrinne. Damit dürfte im Ereignisfall mehr Material für den Transport zur Verfügung stehen und – falls der Niederschlag genügend stark und der Abfluss genug gross ist – vermehrt auch das Bachbett stark erodiert werden.⁴⁰

5 Steinschlag im Täschgufer

5.1 Einleitung

Das Täschgufer befindet sich am rechten Vispaufer im hinteren Mattertal auf dem Gebiet der Gemeinde Täsch. Der Standort ist bekannt für seine regelmässige Steinschlagaktivität, der in aller Regel aus den steilen (48°) und stark zerrütteten Gneisswänden der Leiterspitzen (3214 m ü. M.) losgelöst wird. Abb. 9 zeigt die beiden wichtigsten Ursprungsgebiete der Steinschlagaktivität, welche sich zwischen 2300 und 2600 m ü. M. (SUG 1) und oberhalb 2700 m ü. M. (SUG 2) befinden. Während Steinschlagereignisse ausserordentlich häufig auftreten, bleibt ihr Volumen recht klein und übertrifft nur selten 2 m³. Basierend auf Daten eines lokal kalibrierten Modells von Gruber und Hoelzle⁴¹ muss davon ausgegangen werden, dass in beiden Zonen Permafrost vorkommen kann. Die Existenz dauergefrorenen Bodens wurde anlässlich von Bauarbeiten am Hang auf rund 2400 m ü. M. bestätigt (Abb. 10).⁴²

Gemäss einer lokalen Chronik⁴³ und aufgrund der Geländeformen und Toponomie muss davon ausgegangen werden, dass sich im Täschgufer im Laufe des letzten Jahrtausends nebst regelmässiger Steinschlagaktivität auch mindestens ein Bergsturz mit einem Volumen über 1 Million Kubikmeter zugetragen haben muss. Joris (1995) schätzte das Alter des Täschgufer-Bergsturzes mit Flechtenuntersuchungen auf gut 600 Jahre, basierend auf eigenen Untersuchungen ist von einem Alter von mindestens 720 Jahren auszugehen.⁴⁴ Die räumliche Ausdehnung

39 Ralph Lugon, Markus Stoffel, Reconstruction of rock-glacier movements and debris-flow activity since 1958 using aerial photographs and tree rings, in: Global and Planetary Change, in Vorb.

40 Markus Stoffel, Estimating magnitude-frequency relationships for debris flows – a case study from the Swiss Alps, in: Journal of Geophysical Research, in Vorb.

41 Stefan Gruber, Martin Hoelzle, Statistical modelling of mountain permafrost distribution: local calibration and incorporation of remotely sensed data, in: Permafrost and Periglacial Processes 12 (2001), S. 69–77.

42 Wilfried Haeblerli, Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts, in: Permafrost and Periglacial Processes 3 (1992), S. 111–124.

43 Joseph Zurbriggen, Täsch. Familienstatistik, Chronik und Kirche, Brig 1952.

44 Markus Stoffel et al. (Anm. 14).

des Bergsturzes ist in Abb. 9 dargestellt. Der Wald im Täschgufer besteht vorab aus Lärchen (*Larix decidua* Mill.), Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) und Arven (*Pinus cembra* L.) treten dagegen nur vereinzelt auf. Die lokale Waldgrenze befindet sich auf zirka 2300 m ü. M. In den Hauptsteinschlaggebieten reicht der Wald jedoch nur bis auf eine Höhe von 1780 m ü. M.

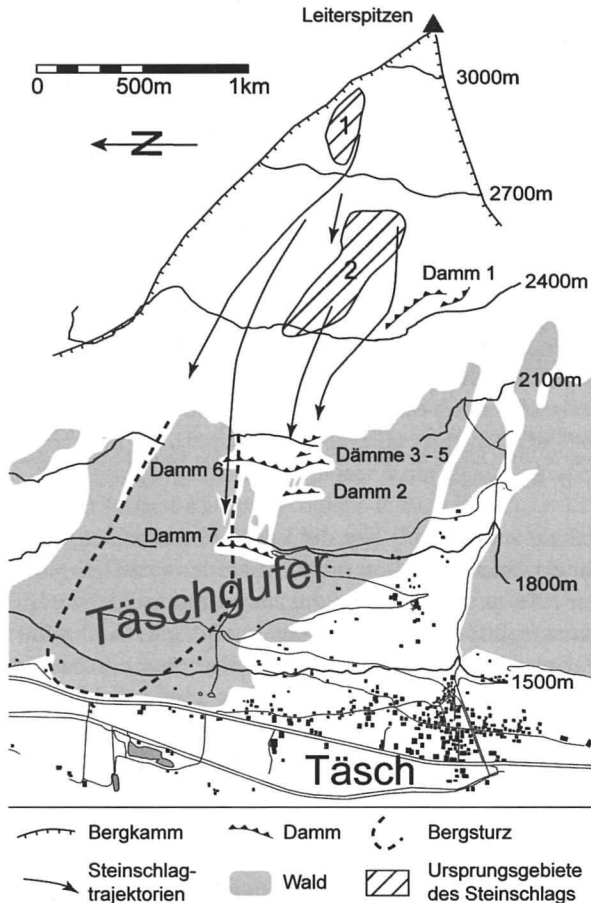


Abb. 9: Das Täschgufer befindet sich nordöstlich des Dorfes Täsch: Darstellung des Steinschlaghangs, der Ursprungsgebiete der Steinschlagaktivität, der Bergsturzlagerungen sowie der Steinschlagdämme, die seit 1988 am Hang errichtet wurden (Dämme 1–7)

In der jüngeren Vergangenheit vermochte Steinschlag wiederholt Schäden an Kulturland und Infrastruktur zu verursachen. Am 6. Oktober 1985 etwa gelangten einzelne Blöcke bis in den Talgrund, wo sie am nördlichen Dorfrand ein Land-

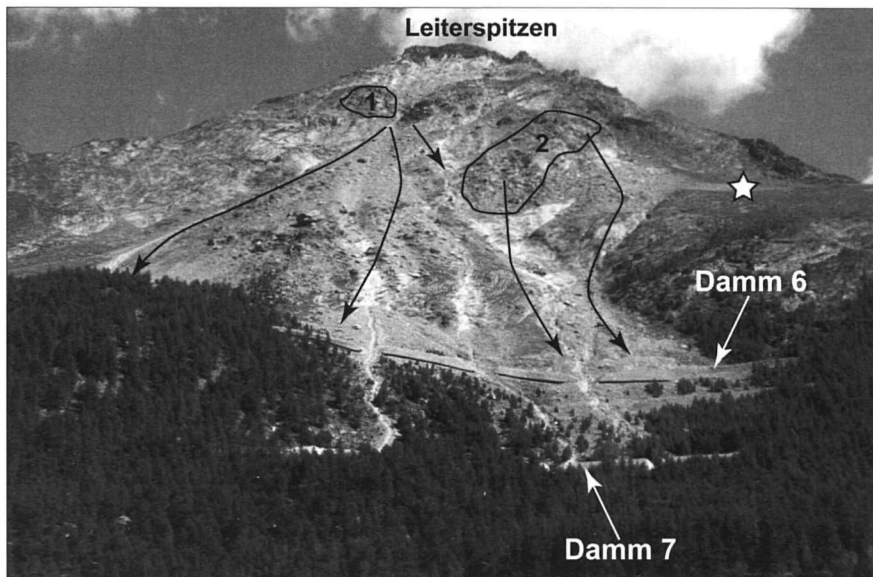


Abb. 10: Blick auf den oberen Bereich des Steinschlaghangs und die Leiterspitzen (3214 mü. M.) mit den beiden Ursprungsgebieten der Steinschlagaktivität (1, 2), den Haupttrajektorien von Steinen und Blöcken (Pfeile) sowie jener Stelle, bei welcher anlässlich von Bauarbeiten Bodeneis (Stern) gefunden wurde (Photo: D. Schneuwly)

wirtschaftsgebäude zerstörten.⁴⁵ Um die künftige Bedrohung durch Steinschlag zu vermindern, errichteten Kanton und Gemeinde in den Jahren 1988 und 1989 sowie zwischen 1996 und 1998 insgesamt sieben Steinschlagdämme (Abb. 10).

Für die Rekonstruktion der Steinschlagaktivität im Täschgufer wurden zwei benachbarte Zonen im Hang ausgeschieden. Die grössere hat eine Fläche von 39 ha und erstreckt sich vom Talgrund auf etwa 1440 mü. M. bis zum untersten Damm auf 1760 mü. M. In diesem Sektor weisen praktisch alle Bäume Schäden vergangener Steinschlagaktivität in Form geköpfter Kronen, Astverlust, Kandelaberwuchs, offener wie überwallter Verletzungen oder schräggestellter Stammachsen auf. Insgesamt wurden in diesem Bereich 135 Bäume ausgewählt und von diesen 564 Bohrkern gezogen. Die Untersuchungen in diesem Abschnitt dienen vorab der Untersuchung der Frequenz, der räumlichen Muster sowie der Grösse der Ereignisse.

Die zweite Zone befindet sich oberhalb des untersten Dammes auf einer Höhe von 1800 bis gut 1900 mü. M. In diesem Sektor wurden 18 junge Lärchen ge-

45 Theo Lauber, Bergsturz und Steinschlag im Täschgufer, Täsch. Geologischer Bericht 95-525.1, Naters 1995.

fällt und im Labor 270 Stammscheiben aufbereitet,⁴⁶ um die Jahreszeitlichkeit der Steinschlagaktivität festzustellen. Zudem wurden – wie im Ritigraben – 17 ungestört gewachsene Lärchen mit 34 Bohrkernen beprobt, um das normale Wachstum der Bäume am Standort einwandfrei von den Störungen durch Steinschlag unterscheiden zu können.

5.2 Resultate

Das Alter der 135 Bäume, die unterhalb der Steinschlagdämme beprobt wurden, beträgt im Durchschnitt 297 Jahre (Alter zum Zeitpunkt der Beprobung im Jahre 2002). Abb. 11 verschafft einen räumlichen Überblick über die Altersstruktur und zeigt auf, dass die ältesten Bäume vorab die Ablagerungen des Bergsturzes besiedeln und die berechneten Klassen grossen Alters sich in etwa mit den Ausenbereichen des Täschgufer-Sturzes decken. Zudem fällt auf, dass die Bäume im südlichen Teil des Untersuchungsgebiets wesentlich jünger sind und die ältesten Individuen den Hang erst in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts flächig besiedelt haben. Die mit Abstand jüngsten Bäume befinden sich entlang des Steinschlagcouloirs unterhalb des untersten Dammes (siehe Abb. 11). In absoluten Zahlen ausgedrückt beträgt das mittlere Baumalter auf den Bergsturzablagerungen im Schnitt 362 Jahre, im Südsektor dagegen nur 212. Der älteste Baum auf dem Bergsturz erreichte die Beprobungshöhe auf ca. 1.3 m A.D. 1318, die älteste Lärche des Südsektors wuchs um A.D. 1596 auf.

Die 135 beprobten Bäume wiesen insgesamt 236 sichtbare Schäden auf, vornehmlich in Form von Kandelaberwuchs infolge Köpfung (64%). Frische oder teilweise überwallte Wunden konnten ebenfalls regelmässig beobachtet werden (25%), schräg gestellte Stammachsen kamen deutlich weniger häufig vor (11%). Anhand der mikroskopischen Untersuchung der Bohrkerns konnten nicht weniger als 761 Wachstumsstörungen im Jahrringbild ausgemacht werden, die eindeutig auf Steinschlag zurückzuführen sind. Am häufigsten deutete die Präsenz von Harzkanalreihen (86%) auf ein vergangenes Ereignis hin. Daneben konnten auch abrupte Wachstumseinbrüche (6.5%), Wachstumsschübe (3%) und Druckholz (3%) festgestellt werden. Deutlich weniger häufig kam Wundgewebe (so genanntes Kallusgewebe; 1.5%) auf den Bohrkernen vor, da es nach mehreren Jahrzehnten oder Jahrhunderten oftmals nicht mehr möglich ist, den Ort der Verletzung bei äusserer Betrachtung genau zu lokalisieren.

46 Markus Stoffel, Igor Lièvre, Michel Monbaron, Simone Perret, Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Valais, Swiss Alps) – a dendrochronological approach, in: Zeitschrift für Geomorphologie 49/1 (2005), S. 89–106.

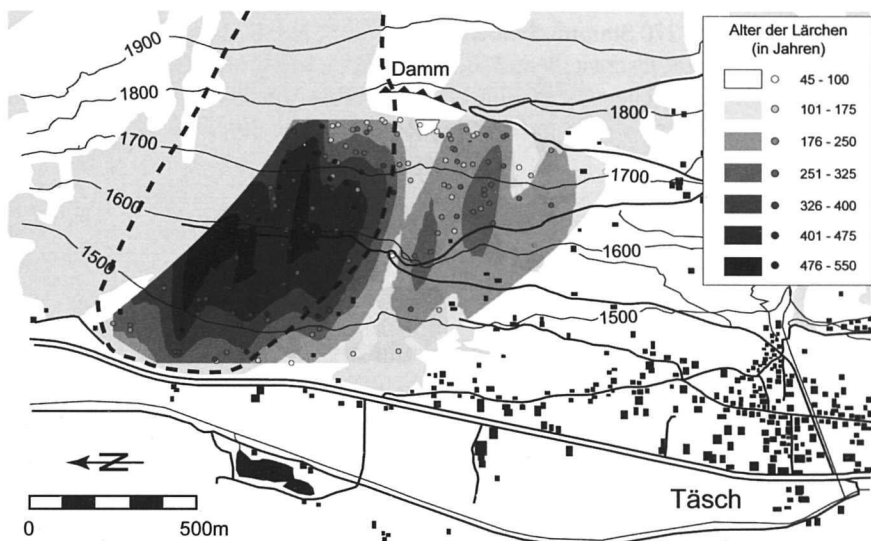


Abb. 11: Alter der Lärchen im Täschgüfer (in Jahren; Werte interpoliert)

Die aus den Jahrringserien gewonnenen Informationen deuten zudem darauf hin, dass die Steinschlagaktivität in den verschiedenen Bereichen des Hangs starke Unterschiede aufweist. Die interpolierte Verteilung der Steinschlaghäufigkeit über den unteren Bereich des Hanges ist in Abb. 12 dargestellt. Sie zeigt auf, dass erhöhter Steinschlag vorab in den Bäumen oberhalb 1700 m ü. M. registriert wird, wo der Waldbestand immer spärlicher wird. Ebenso wurde eine Häufung von Wachstumsanomalien in jenen Bäumen festgestellt, welche entlang des Steinschlagcouloirs unterhalb des untersten Dammes wachsen. In diesen Bereichen werden die Bäume regelmässig von Steinen getroffen, teilweise sogar mehrmals pro Jahrzehnt. Im Gegensatz dazu weisen die auf dem Bergsturz aufwachsenden Bäume eine sehr kleine Zahl von Wachstumsanomalien auf. Im Einzelfall verstreichen mehr als 150 Jahre zwischen zwei Treffern. Es fällt auf, dass die Zonen geringerer Aktivität mit älteren Bäumen bestockt sind. In den Gebieten mit hoher Steinschlagaktivität wachsen dagegen vorab jüngere Bäume und fallende Steine und Blöcke schaffen mit grosser Regelmässigkeit Platz für neue Sämlinge.

Die Analyse der Steinschlagaktivität auf den Bergsturzablagerungen reicht aufgrund des hohen Alters bis A.D. 1600 zurück, als 29 der 78 beprobten Bäume den Hang bereits besiedelten, und umfasst 400 Ereignisse. Im Südsektor reichen die Untersuchungen ob des jüngeren Alters der Bäume bis 1740 zurück und es konnten insgesamt 341 Steinschläge in den 57 beprobten Lärchen erfasst werden. Aus den Daten geht hervor, dass Steinschlag während der letzten 400 Jah-

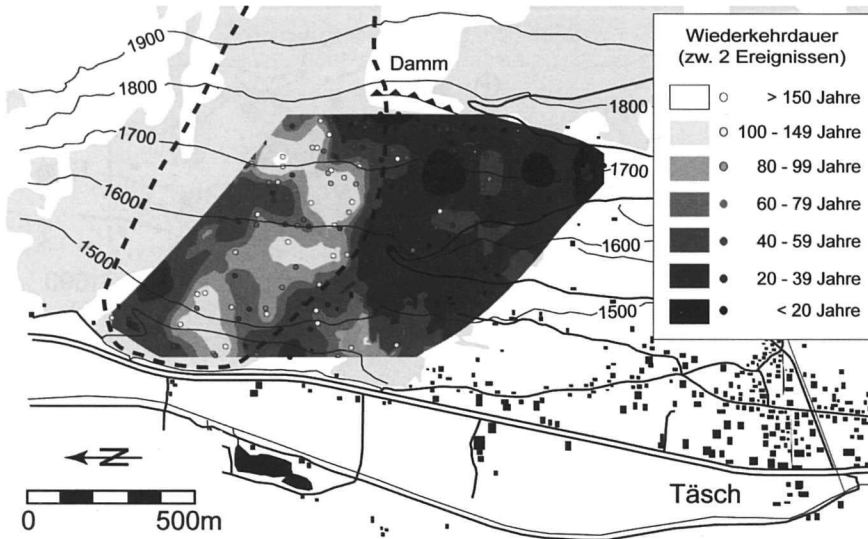


Abb. 12: Wiederkehrdauer von Steinschlag im Täschgufer. Die Zahlen geben die Anzahl Jahre an, welche im Schnitt zwischen zwei Treffern an einem Baum verstreichen

re praktisch ununterbrochen aufgetreten ist, zumeist in der Form kleinvolumiger Ereignisse.

Daneben zeugen die Jahrringserien von einem seltenen, grösseren Ereignis, vermutlich ein Felssturz mit mehreren Tausend Kubikmetern Material. Dieser muss sich im Jahre 1720 zugetragen haben und vermochte den Waldbestand im Südsektor grösstenteils zu eliminieren. Die Bäume auf den Bergsturzlagerungen weisen zahlreiche Störungen als Folge des Felssturzes auf. Im Gegensatz zu ihren Nachbarn im südlichen Teil des Hanges überlebten sie das Ereignis aber mehrheitlich. Abb. 13 belegt, dass 13 Bäume durch das Grossereignis verletzt wurden. Gleichzeitig stellen wir fest, dass 11 Lärchen durch die Eliminierung benachbarter Bäume von verbesserter Nährstoff-, Licht- und Wasserverfügbarkeit profitierten und ab 1721 merklich breitere Jahrringe ausbilden konnten. Ein Grossteil der Bäume, welche auf den Felssturz von 1720 reagierten, befinden sich im oberen Teil des Untersuchungsgebietes (höher als 1590 m ü. M.), wo 16 der damals 33 existierenden Bäume (48 %) auf das verheerende Ereignis hinweisen.

Im Gegensatz dazu fehlen im unteren Teil des Hanges Anzeichen des Felssturzes praktisch gänzlich, und nur 3 der 21 bestehenden Bäume (14 %) weisen Verletzungen auf, Wachstumsschübe fehlen sogar gänzlich. Abb. 13 zeigt ebenfalls, dass auf dem Hang, als indirekte Folge des Ereignisses von 1720, in den Jahren und Jahrzehnten nach dem Felssturz eine starke Wiederbesiedelung des Hanges be-

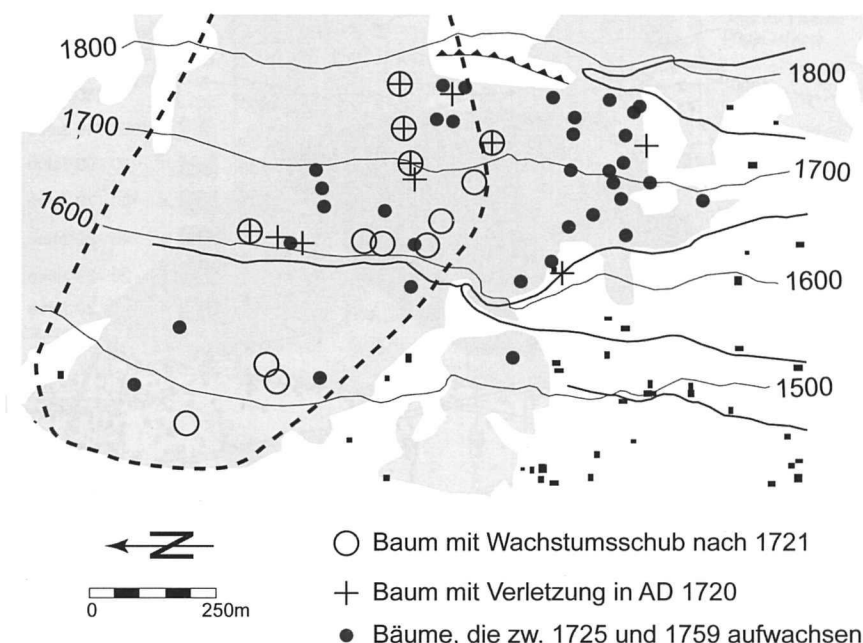


Abb. 13: Schadensmuster nach dem Felssturz von 1720. Dreizehn der beprobten Bäume wurden verletzt (+), elf zeigen einen abrupten Wachstumsschub ab A.D. 1721 (○). In den Jahren nach dem Ereignis (1725–1759) wurde der Steinschlaghang allmählich wieder von Lärchen (●) besiedelt

obachtet werden kann: Zwischen 1725 und 1759 wuchsen nicht weniger als 25 % aller beprobter Bäume auf, vorab im zuvor zerstörten Südsektor.

In einem weiteren Schritt wurde die jährliche Steinschlagaktivität in Dekadenfrequenzen umgerechnet. Die so errechnete Frequenz ist in Abb. 14 dargestellt und gibt die Anzahl Schäden pro Meter Baumdurchmesser wieder. Diese Art der Darstellung ist nötig, da sich Steinschlag, im Gegensatz zu Lawinen oder Murgängen, nicht flächig auswirkt und ein einzelner Block ausschliesslich entlang seiner Sturzbahn Schäden verursachen kann. Da ein Baum zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedlich gross ist, ändert sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass er getroffen wird, da ein ausgewachsener Baum eine weitaus grössere Zielscheibe darstellt als ein Sämling. Aufgrund dieser Prämissen ergibt sich für die Bergsturzablagerung der letzten 400 Jahre eine mittlere Steinschlagrate von 0.65 Wachstumsstörungen (WS) pro Meter exponiertem Baumdurchmesser (BHD) und Dekade (= WS 1 m BHD⁻¹ 10 a⁻¹). Gleichzeitig fällt auf, dass die Aktivität im Laufe der Zeit starke Veränderungen erfahren hat, namentlich etwa durch den Felssturz von 1720 (Abb. 14A). Infolge der teilweisen Zerstörung des Waldbestands auf den Bergsturzablagerungen stieg die Steinschlagrate während der 1720er

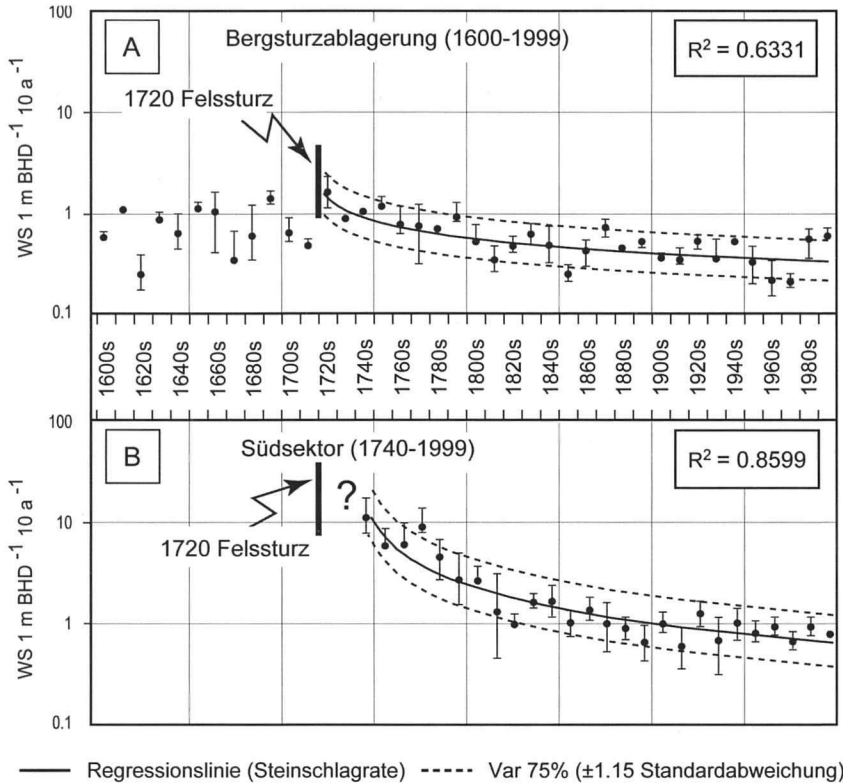


Abb. 14: Rekonstruierte Steinschlagrate. A. Auf den Bergsturzablagerungen deckt die Untersuchung die letzten 400 Jahre ab (1600–1999) und deutet darauf hin, dass durch den Felssturz von 1720 die Schutzwirkung des Waldes kurzfristig reduziert war. B. Im Südsektor vermochte der Felssturz den Baumbestand beinahe vollständig zu eliminieren und die aufkommenden Bäume konnten ihre Schutzfunktion erst allmählich wahrnehmen. Durch den immer dichter werdenden Wald hat die Zahl der Schäden pro Baum zwischen 1740 und heute um einen Faktor 13 abgenommen

kurzfristig auf $1.53 \text{ WS } 1 \text{ m BHD}^{-1} 10 \text{ a}^{-1}$. Seit dem Grossereignis ist die rekonstruierte Aktivität mehrheitlich im Abnehmen begriffen und zeichnet sich durch Phasen mit signifikant geringer (1850er, 1960er, 1970er), aber auch signifikant höher (1870er, 1990er) Phasen aus.

Aufgrund des jüngeren Alters der Bäume im Südsektor beginnt die Zusammenfassung der Ereignisse in eine Dekadenfrequenz für diesen Bereich des Hangs erst in den 1740er-Jahren. Unsere Daten deuten auf eine mittlere Steinschlagrate von $2.36 \text{ WS } 1 \text{ m BHD}^{-1} 10 \text{ a}^{-1}$ hin. Abb. 14B zeigt sehr schön auf, dass die Steinschlagaktivität in der ersten Phase nach dem Felssturz sehr hoch war und der Waldbestand zuerst aufkommen musste. Dadurch beobachten wir in den 1740er-Jahren

eine ausserordentlich hohe Aktivität mit beinahe 11 Schäden pro Meter (sprich $10.99 \text{ WS } 1 \text{ m BHD}^{-1} 10 \text{ a}^{-1}$). Wie wir bereits für die Bäume auf den Bergsturzlagerungen beobachten konnten, sinkt die Anzahl Treffer pro Flächeneinheit auch im Südsektor mit zunehmender zeitlicher Distanz zum Felssturz von 1720. Während eine merkliche Abnahme bereits in den 1750er und 1760er-Jahren zu erkennen ist, steigt die Steinschlagrate in den 1780ern erneut und erreicht einen Wert von $8.86 \text{ WS } 1 \text{ m BHD}^{-1} 10 \text{ a}^{-1}$. Die Phase erhöhter Aktivität zieht sich sogar bis zum Ende des 18. Jahrhunderts hin. Im Gegensatz zum Grossereignis von 1720 zeichnen in dieser Phase mehrere Jahre erhöhter Steinschlagaktivität verantwortlich – namentlich 1772, 1774, 1779, 1783, 1792 –, jedoch nicht ein einzelner Felssturz. Von 1870 bis in die frühe Nachkriegszeit wird eine niedrige Steinschlagaktivität registriert, namentlich etwa zwischen 1910 und 1919 mit nur $0.63 \text{ WS } 1 \text{ m BHD}^{-1} 10 \text{ a}^{-1}$. Seit den 1940ern ist die Steinschlagaktivität wieder leicht im Steigen begriffen, es fehlen jedoch Dekaden mit extremer Aktivität oder grossen Ereignissen.

Das jahreszeitliche Auftreten von Steinschlag im Täschgufer wurde an jungen Lärchen untersucht, die oberhalb des untersten Steinschlagdamms wuchsen und im Schnitt 25 Jahre alt waren. Die 18 untersuchten Bäume wurden im Gelände gefällt und im Labor für Dendrogeomorphologie in 270 Einzelscheiben geschnitten, um so die 115 inventarisierten Steinschlagverletzungen im Detail untersuchen zu können. Daten zur jährlichen Steinschlagfrequenz deuten auf Jahre geringer (1978, 1979, 1981 und 1988), wie auch Jahre starker Aktivität (1985, 1994, 1995, 1999 und 2001) hin. Auch wenn die Anzahl beprobter Bäume für weiterführende Interpretationen eindeutig zu klein ist, so stimmen die Jahre höherer Aktivität doch mit Augenzeugenberichten überein.⁴⁷ Das Auftreten der Steinschlagaktivität innerhalb des Kalenderjahrs konzentriert sich sehr stark auf das Winterhalbjahr (in unserem Fall Oktober bis Mai), welchem 88% der Steinschläge zugeordnet werden können. Stürzende, springende und rollende Blöcke vermochten dagegen nur vereinzelt (12%) Schäden im Sommerhalbjahr anzurichten.

5.3 Diskussion

In den vorausgegangenen Abschnitten zur Steinschlagaktivität im Täschgufer wurde eine räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Zeitreihe präsentiert, wie sie in ihrer Art weltweit einzigartig ist. Durch die ausführliche Beprobung des ausserordentlich alten Waldbestands im Täschgufer konnten mehr als 700 Steinschläge seit A.D. 1600 erfasst sowie ein grösseres Ereignis (= Felssturz) dokumentiert

⁴⁷ Theo Lauber (Anm. 45).

werden. Die Untersuchung zeigt ebenfalls auf, dass der neu aufkommende Wald im Südsektor nach dem Felssturz nur sehr bedingt Schutz vor Steinschlag bieten konnte und zahlreiche Steine bis in den mittleren und unteren Bereich des Untersuchungsgebiets vorzudringen vermochten. Im Laufe der Jahre verbesserte sich die Schutzwirkung des Bannwald zusehends, so dass heute – im Vergleich zu den 1740er-Jahren – dreizehn Mal weniger Steine mehr den Talgrund erreichen. Die vorliegende Untersuchung ist in diesem Sinne auch ein Plädoyer für eine bessere Wertschätzung sowie einen angepassten und aktiven Unterhalt unserer Schutzwälder.

Unsere Daten zeigen ebenfalls auf, dass nebst kleinvolumigen Abbrüchen mit wenigen Kubikmetern Material im Einzelfall auch Grossereignisse auftreten können. Der Felssturz von 1720 ist ein Beispiel dafür. Interessant scheint dabei, dass der Sturz nach einer Reihe verhältnismässig warmer Sommer aufgetreten ist. Wir erinnern uns, dass infolge des Hitzesommers 2003 in den Alpen zahlreiche Felsstürze aufgetreten sind, so etwa auf der Aufstiegsroute zum Matterhorn. Dies legt den Schluss nahe, dass sich grössere Felsabbrüche infolge wärmerer Temperaturen und verstärkter Permafrostschmelze häufen könnten.

Durch die Untersuchung jahreszeitlicher Unterschiede in der Steinschlagaktivität konnte zudem deutlich aufgezeigt werden, dass eine grosse Mehrheit (88 %) der Steinschläge im Winterhalbjahr auftritt. Direkte Beobachtungen vor Ort bestätigen unsere Resultate und deuten zudem darauf hin, dass Steinschlag grossmehrheitlich im April und Mai vorkommt, wenn die Aktivschicht des lokal vorhandenen Dauerfrostbodens aufzutauen beginnt und das Eis in den Felsritzen und -klüften schmilzt.⁴⁸ Im Gegensatz dazu tritt Steinschlag während des Sommerhalbjahrs mit lediglich 12 % viel seltener auf. Die Auslösung des Sommer-Steinschlags hängt von zahlreichen Faktoren ab.⁴⁹ Es zeigt sich aber, dass lokale Erdbeben und starke Niederschläge zu den wahrscheinlichsten Auslösern zählen.⁵⁰

48 Norikazu Matsuoka, Hiroaki Sakai, Rockfall activity from an alpine cliff during thawing periods, in: *Geomorphology* 28 (1999), S. 309–328.

49 Gerald F. Wieczorek, Stefan Jäger, Triggering mechanisms and depositional rates of postglacial slope-movement processes in the Yosemite Valley, in: *Geomorphology* 15 (1996), S. 17–31.

50 Dominique M. Schneuwly, Markus Stoffel, Changes in spatio-temporal patterns of rockfall activity on a forested slope – a case study using dendrogeomorphology, in: *Geomorphology* 102 (2008), S. 522–531; dies., Tree-ring based reconstruction of the seasonal timing, major events and origin of rockfall on a case-study slope in the Swiss Alps, in: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8 (2008), S. 203–211.

6 Schlussbetrachtungen

Die in diesem Beitrag dargestellten Untersuchungen im Ritigraben und Täschgufer zeigen das grosse Potenzial dendrogeomorphologischer Arbeiten für die Rekonstruktion kurz-, mittel- und langfristiger Aktivität verschiedenster Naturgefahrenprozesse auf. Zudem erweist sich der Ansatz als sehr geeignet, wenn auf Standorten die Dynamik und allfällige Veränderungen eines Prozesses im Laufe der Zeit dargestellt werden sollen, da in unseren Breiten Archivdaten häufig fehlen oder nur fragmentarisch vorhanden sind.⁵¹ Hier können Jahrringanalysen dem Forschenden wie auch der Praxis wertvolle Daten für eine realistische(re) Abschätzung von Gefahren und Risiken liefern. In den vorausgegangenen Abschnitten wurde versucht, den enormen Nutzen von Jahrringanalysen für die nachträgliche Bestimmung vergangener Frequenzen (*wie häufig?*), Volumina (*wie viel?*), räumlicher Muster (*wo?*), Reichweiten (*wie weit?*) oder der Saisonalität (*wann?*) aufzuzeigen. Zudem konnte im Fall des Täschgufer die Schutzwirkung des Waldes quantifiziert werden (*wie effizient?*).

Die Resultate dendrogeomorphologischer Studien scheinen daher in mehrfacher Hinsicht für die Abschätzung von Gefahren und Risiken von Nutzen: (1) Einerseits tragen gut belegte und umfangreiche Daten zu einem Prozess X an einem Ort Y wesentlich zur Güte der zu erstellenden Naturgefahren- oder Risikokarten bei. (2) Daneben können die hoch aufgelösten Informationen bei der Planung und Dimensionierung von Schutzbauten wie Ablenk- und Rückhaltedämmen oder Schutznetzen verwendet und die Bauwerke besser und realitätsnahe dimensioniert werden. (3) Informationen zum jahreszeitlichen Auftreten von bestimmten Prozessen erleichtern die Abschätzung von tragbaren Risiken und erlauben überdies, die zeitweilige Schliessung von Strassen und Wegen besser planen und rechtfertigen zu können. (4) Resultate von Jahrringuntersuchungen können schliesslich auch benutzt werden, um die Güte von Modellen zu prüfen oder um Eingangsparameter besser festlegen zu können⁵² und dienen so der Verbesserung bestehender Modelle.

Die Vergangenheit ist der Schlüssel zur Zukunft. Eine realistische Abschätzung künftiger Entwicklungen von Naturgefahrenprozessen scheint daher nur möglich, wenn Murgänge, Steinschlag, Lawinen, Rutschungen oder Hochwasser besser erforscht und die Faktoren, die zu ihrer Auslösung führen, besser verstanden werden. Bäume sind einzigartige und ausgezeichnete Archive und daher von

51 Markus Stoffel, A review of studies dealing with tree rings and rockfall activity: The role of dendrogeomorphology in natural hazard research, in: *Natural Hazards* 39/1 (2006), S. 51–70.

52 Markus Stoffel, André Wehrli, Roderick Kühne, Luuk K. A. Dorren, Simone Perret, Hans Kienholz, Quantifying the protective effect of mountain forests against rockfall using a 3D simulation model, in: *Forest Ecology and Management* 225 (2006), S. 113–122.

grossen Nutzen für die Rekonstruktion und das Verständnis von Naturgefahrenprozessen. Sie zeigen uns auch auf, dass ein Klimawandel nicht zwingend mehr Katastrophen zur Folge haben muss und dass jeder Prozess für sich und in seinem Kontext betrachtet werden muss. Nur so lassen sich vergangene wie auch künftige Naturkatastrophen besser verstehen und zuverlässige Aussagen für die Zukunft machen.